

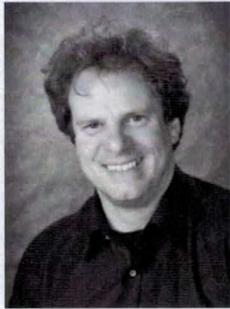
Auswirkungen von Trockenheitsstress auf die Verkehrssicherheit – Vermeidung durch Bewässerung

Referent: Gernot Fischer

Büro Standort Baum Expertise, Mülheim an der Ruhr

Inhalt des Beitrages

1	Einleitung	23
2	Wasseraufnahme.....	23
3	Mykorrhiza	25
4	Wasserhaushalt.....	25
5	Boden.....	26
6	Hitze, Trockenheit und Trockenstress	28
7	Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit	28
8	Geänderte Artenauswahl als Reaktion auf die Trockenheit	30
9	Erhalt bestehender Bäume.....	30
10	Bewässerung in Trockenzeiten.....	31
11	Quellen	33



Dipl.-Ing.

Gernot Fischer

Büro Standort Baum Expertise

Weseler Str. 52

45478 Mülheim a. d. Ruhr

E-Mail: gernot.fischer@standort-baum.de

Kurzbiographie

1987 – 1992	Studium Landespflege, UNI GH Essen
1992 – 1995	Studium Landschaftsplanung, UNI GH Kassel
1995 – 2001	Betriebsleitung GaLaBau in Essen
2001 – 2002	Abteilungsleitung Baumpflege und Council Arborist in Auckland, New Zealand
2002 – 2003	Selbständiger Gutachter in Auckland, New Zealand
2003 – 2016	Technischer Angestellter, Stadt Marl
2012 – 2016	Lehrauftrag für Baumpflege am Gartenbauzentrum Essen
2016 – 2018	Abteilungsleiter Stadtgrün, Stadt Neuss
seit 2007	Akkreditierter Ausbilder und Prüfer FLL zertifizierter Baumkontrolleur
seit 2009	Geprüfter und anerkannter Sachverständiger (DESAG)
seit 2016	Mitglied des Prüfungsausschusses der LWK NRW – FAW Baumpflege
seit 2018	Sachverständiger Standort-Baum Expertise Mülheim a. d. Ruhr

1 Einleitung

Die letzten beiden Jahre, aber auch schon die Jahre 2003 und 2015 sind als Jahre mit vielen Hitzerekorden in Erscheinung getreten. 2018 ist zudem als außergewöhnliches Dürrejahr festzuhalten und im Dürremonitor des Helmholtz Zentrums nachzuvollziehen (Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), 2019).

Die letzten fünf Jahre waren die wärmsten Jahre seit dem Beginn der Wetteraufzeichnungen. Allgemein gilt die Einschätzung, dass aufgrund geänderter Klimabedingungen mit zunehmender Hitze und zunehmender Trockenheit zu rechnen ist und gleichzeitig die Niederschläge verstärkt als Starkregenereignisse stattfinden werden. Insgesamt entstehen dadurch zunehmende Bodenfeuchtedürren die durch verlängerte Vegetationsperioden noch verschärft werden können. „*Es gibt immer weniger Wasser im Boden – mit weitreichenden Folgen für Pflanzen, Tiere und Menschen.*“ (Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ), 2019).

Die Auswirkungen auf den Baumbestand sind erheblich und zeigen sich nicht nur im Forst, wo neben dem Fichtensterben zunehmend auch Erkrankungen von Buche und Ahorn eine Rolle spielen, auch und gerade in den städtischen Bereichen wird der Baumbestand durch Trockenstress erheblich geschädigt. Als Folge der Trockenheit und Hitze entstehen vermehrt Schäden, die direkte Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit haben. Darüber hinaus verbreiten sich Pflanzenkrankheiten, die durch hohe Temperaturen und die geschwächten Pflanzen begünstigt werden.

Eine Möglichkeit diesen Problemen zu begegnen ist die Stärkung der gestressten Bäume, indem durch gezielte Bewässerungsmaßnahmen ein Teil der Schäden vermieden werden und die Pflanzen in der Fähigkeit unterstützt werden den negativen Einflüssen zu widerstehen.

2 Wasseraufnahme

Für die Beurteilung der Risiken von Trockenschäden sind zunächst einige grundlegende Mechanismen von Bedeutung, die hier vereinfacht dargestellt werden.

Zum einen zählt dazu die Wasseraufnahme und -abgabe durch die Bäume. Abgesehen von der hier eher untergeordneten Möglichkeit der Wasserdampfaufnahme über die Blätter (in bestimmten Gebieten können Pflanzen darüber den Wasserbedarf bis zu 10 % decken) durchdringt die Pflanze mit ihren Wurzeln den Boden und dringt vor allem mit ihren Feinwurzeln und Mykorrhizasymbionten zwischen die Bodenpartikel und nimmt im Boden verfügbares Wasser auf. Der Übergang des Wassers vom Boden in die Pflanze erfolgt bei Bäumen im Wesentlichen aufgrund eines Transpirationssoges und eines Konzentrationsgefälles (oder auch chemischen Potentialgefälles) zwischen Bodenwasser und Pflanzenzelle durch Osmose (Osmotischer Druck). Hinzu kommen Quellungskräfte, die in Pflanzenzellen entstehen und quasi durch Unterdruck das Wasser des Bodens durch die Wurzelhaarzellwand ansaugen (Nultsch, 1986, Straßburger, 1983). Das Wasser kann durch diese Prozesse auch in der Pflanze weitergegeben werden, dieses geschieht etwa vor dem Austrieb der im Winter laublosen Gehölze. Wird das Wasser weitergegeben, entsteht erneut eine Potentialdifferenz zwischen der Pflanze und dem Boden. Voraussetzung für den Ablauf dieses Prozesses ist, dass die Saugspannung der Rhizodermiszellen größer ist, als die Haltekräfte des Bodens. In der Pflanze erfolgt der Wassertransport dann in den Leitgefäßen und wird letztlich über die Spaltöffnungen (Stomata) an der Unterseite der Blätter und Nadeln aufgrund des niedrigeren Wassergehaltes der Umgebungsluft an diese abgegeben. Dabei ist das Potentialgefälle zwischen Pflanze und Umgebungsluft um ein Vielfaches höher als das Gefälle zwischen Boden und Pflanze. Durch diese Mechanismen wird daher ein so erheblicher Sog erzeugt, dass das Wasser zum Teil mit hoher Geschwindigkeit (Eiche bis 44 m / Stunde) und über große Strecken (bis zu 130 m (Eukalyptus, Sequoia)) transportiert wird. Dieser Transpirationssog sorgt für eine stetige Wasserentnahme aus dem Boden. Insbesondere in Trockenphasen, aber auch bei einsetzender Transpiration wird zudem zunächst auf das leicht zugängliche Wasser im Gewebe von Blättern und

Rinde zurückgegriffen, das als interner Wasserspeicher dient und der dadurch entleert wird. In der Rinde führt diese Entleerung zum Schrumpfen der Baumrinde, dieser Vorgang setzt sich wellenartig von der Krone bis zur Wurzel fort. In der Regel werden diese Speicher über Nacht bei herabgesetzter Transpiration wieder aufgefüllt. Auch das Splintholz des Baumes dient als Wasserspeicher, hier ändert sich der Wassergehalt jedoch erst bei extremer Trockenheit, nämlich dann, wenn der Boden nicht mehr ausreichend Wasser nachliefern kann (Wimmer, 2006). Wenn die Pflanze dem Boden das Wasser entzogen hat, kommt die Aufnahme des Wassers solange zum Erliegen, bis Wasser im Boden nachgeflossen ist und für den erneuten Potentialausgleich zur Verfügung steht. Wenn die Saugspannung des Bodens die der Pflanze übersteigt, kommt es zum völligen Erliegen und zum Welken der Pflanze.

Ist der Welkevorgang irreversibel spricht man vom permanenten Welkepunkt, der bei krautigen Pflanzen eher erreicht wird als bei den Holzpflanzen. In der Landwirtschaft geht man davon aus, dass dieser Punkt bei einem Wasserpotential des Bodens von unter -15 bar erreicht ist. Holzpflanzen können je nach Art noch Saugspannungen von -20 bis -30 bar aufbauen, einige Wüstenpflanzen bis -100 bar. Die von der Bodenart abhängige Nachleitungsgeschwindigkeit des Wassers wird mit abnehmender Wassersättigung des Bodens immer langsamer (ungesättigte Wasserleitfähigkeit). Die Pflanze begegnet dem Mangel, indem sie dem Wasser hinterherwächst. Dieser Effekt bzw. das Gegenteil davon lässt sich auch an Bäumen beobachten, die regelmäßig gewässert werden: diese Bäume vernachlässigen das Wurzelwachstum (Bühler et al, 2011). Ein gewisser Trockenstress ist für die Bäume daher sinnvoll, um das Wurzelwachstum voranzutreiben. Dabei entwickeln Bäume umfangreiche Wuchsleistungen. An ausgewachsenen Tannen wurden die dazugehörigen Wurzeln im Bereich des doppelten Kronendurchmessers vorgefunden. Alleine im Bereich bis 1,5 m Bodentiefe wiesen die Feinwurzeln schon eine Gesamtlänge von 130 km auf. Wurzeln von Eichen werden regelmäßig in Tiefen über 10 m vorgefunden und Rekordhalter ist eine Wurzel in einer Tiefe von 65 m.

Die wasseraufnehmenden Fein- bzw. Haarwurzeln der Bäume sind relativ kurzlebig und in Abhängigkeit des Bodens oberflächennah vorzufinden, da dort auch ausreichend Sauerstoff und Nährstoffe zur Verfügung stehen. Sie werden immer wieder neu gebildet und sind als eine Art Anpassungsorgan an die wechselnden Umgebungsbedingungen zu verstehen. Die Feinwurzeln der Laubbäume leben oftmals nur 2-3 Jahre, die der Nadelbäume mit ca. 5 Jahren etwas länger (Brunner, 2006).

Die Pflanzen haben neben der Optimierung der Wurzeln, und damit der Verbesserung der Wasseraufnahme, auch weitere Mechanismen entwickelt, um den Wasserverbrauch zu senken. Das sind einerseits morphologische Merkmale wie das äußere Abschlussgewebe, welches mit der Cuticula überzogen ist. Die Cuticula enthält Cutin, Lipide und oftmals Wachseinlagerungen und verhindert dadurch einen Gasaustausch und damit auch einen Wasserverlust. Sie ist auf der Blattunterseite unterbrochen von Spaltöffnungen (Stomata), durch die die Pflanzen den Gasaustausch mit der Umgebung betreiben. Dabei können Pflanzen die Spaltöffnungen mit Schließzellen und Nebenzellen vergrößern oder verkleinern und sich dadurch an die Umgebungseinflüsse anpassen. Erhöhte Temperaturen führen zunächst zu höherer Stoffwechsellistung und dadurch vermehrtem Wachstum, wenn genügend Wasser vorhanden ist. Einem Wassermangel begegnet die Pflanze durch Schließung der Stomata zu Ungunsten des Stoffwechsels. Die Pflanze muss den Kompromiss zwischen Stoffwechsellistung und Verdunstungsschutz finden (Bauer, 2013). Der Großteil der Verdunstung erfolgt über die Blätter, durch die Borke der Achsenorgane verlieren große Bäume nur 1/300 bis 1/3000 der Wassermenge, die durch das Laub bei guter Wasserversorgung verdunstet wird (Straßburger, 1983). Zusätzliche Anpassungen an Trockenheit können z. B. auch durch eine Veränderung des Habitus (kleiner, runder) erfolgen.

3 Mykorrhiza

Eine schon lange bekannte Möglichkeit der Pflanzen ihre Versorgungslage zu verbessern ist die Symbiose mit Pilzen (Mykorrhiza). Über 90 % der Landpflanzen sind in der Lage eine solche Symbiose einzugehen. Hierzu gestattet die Pflanze den Pilzpartnern in die äußeren Schichten der Wurzeln vorzudringen und dort Stoffwechselprodukte der Pflanze aufzunehmen. Die Pilze können daraus Hyphensysteme entwickeln, die aufgrund ihrer geringen Größe in die feinsten Bodenstrukturen eindringen können und über die im Vergleich zur einfachen Wurzel nun erheblich vergrößerten Oberfläche Wasser aufnehmen. Dabei können die Hyphen Wasser und Nährstoffe erreichen, die die Wurzeln aufgrund ihrer Größe und ihres Durchmessers nicht erschließen können. Außerdem können sie noch bei deutlich höherer Wasserspannung Wasser aus dem Boden aufnehmen. Während die Transpiration auch hier die entscheidende Kraft für den Wassertransport ist, verringert sich die Transpirationsleistung mykorrhizierter Pflanzen unter Trockenstress deutlich weniger. Die Nährstoff- und Wasserversorgung wird länger aufrechterhalten. Dies entsteht vermutlich durch ein komplexes Zusammenspiel zwischen den Pflanzenhormonen, die durch die Mykorrhizapilze verändert werden. Unter Trockenstress liegen die Photosyntheseraten von mykorrhizierten Pflanzen bis zum Zehnfachen über denen von nicht mykorrhizierten Vergleichspflanzen. Mykorrhiza verändern zudem die Struktur des Bodens und sorgen dadurch in der Regel für eine bessere Wasserspeicherkapazität (Kottke, 2017).

4 Wasserhaushalt

Betrachtet man den Wasserhaushalt von Bäumen trennt sich die Betrachtungsweise gleich zu Beginn in die völlig unterschiedlichen Lebenswelten der Stadtbäume und der natürlichen Vegetation, etwa in Wäldern. Bei Letzteren ist der Blick auf die einzelne Pflanze nahezu unbrauchbar, da neben der Transpirationsrate des einzelnen Baumes, die Interzeption, also die Verdunstung einer Regenspende aus dem Blatt- oder Nadelwerk heraus und die Evaporation, die die Verdunstung von Wasser aus dem Boden bezeichnet, wichtig für die Verwertung des Niederschlages und damit für den Wasserhaushalt sind. Betrachtet man zum Beispiel den Wasserverbrauch der Douglasie, könnte man auf die Idee kommen, einen genügsamen Baum vor sich zu haben, der mit Trockenheit gut zurechtkommt, was bezogen auf die einzelne Pflanze sicherlich stimmig ist, da die Transpirationsleistung des Baumes vergleichsweise gering ist. Eine einzelne Buche verdunstet dagegen deutlich mehr Wasser. Richtet man den Blick jedoch auf einen geschlossenen Bestand, ist festzustellen, dass die feinen Nadeln der Douglasie viel Regen in der Krone festhalten und die Lichtdurchlässigkeit des Bestandes zu gesteigerter Evaporation beiträgt. Im Buchenbestand sorgt das geschlossenem Kronendach dafür, dass das Wasser schnell von den Blättern abläuft und den Boden erreicht. In dem starken Schatten der Bäume erfolgt nur eine geringe Verdunstung aus dem Boden. Dadurch ist der Gesamtwasserbedarf im Buchenbestand geringer als der eines Douglasienbestandes, obwohl die einzelne Buche mehr Wasser benötigt als die einzelne Douglasie.

Bei Stadtbäumen ist dagegen der Blick auf die einzelne Art hilfreicher, da die Bäume in der Regel stark auf Ihre individuelle Transpirationsleistung reduziert sind, die Interzeption durch die umgebende Strahlungswärme von Gebäuden stark erhöht ist und die versiegelten Standorte kaum eine Evaporation zulassen. Es liegt auf der Hand, dass die Bäume mit zunehmender Größe und zunehmender Kronenprojektionsfläche eine höhere Transpirationsleistung vollbringen, die durch das Wasser des durchwurzelten Bodens gedeckt werden muss. Die abgebildete Grafik (Abb. 1, Wasserbedarf; Rust, 2010) zeigt, welch enormes Bodenvolumen erforderlich ist, um einen Baum unter normalen Umständen ausreichend mit Wasser zu versorgen.

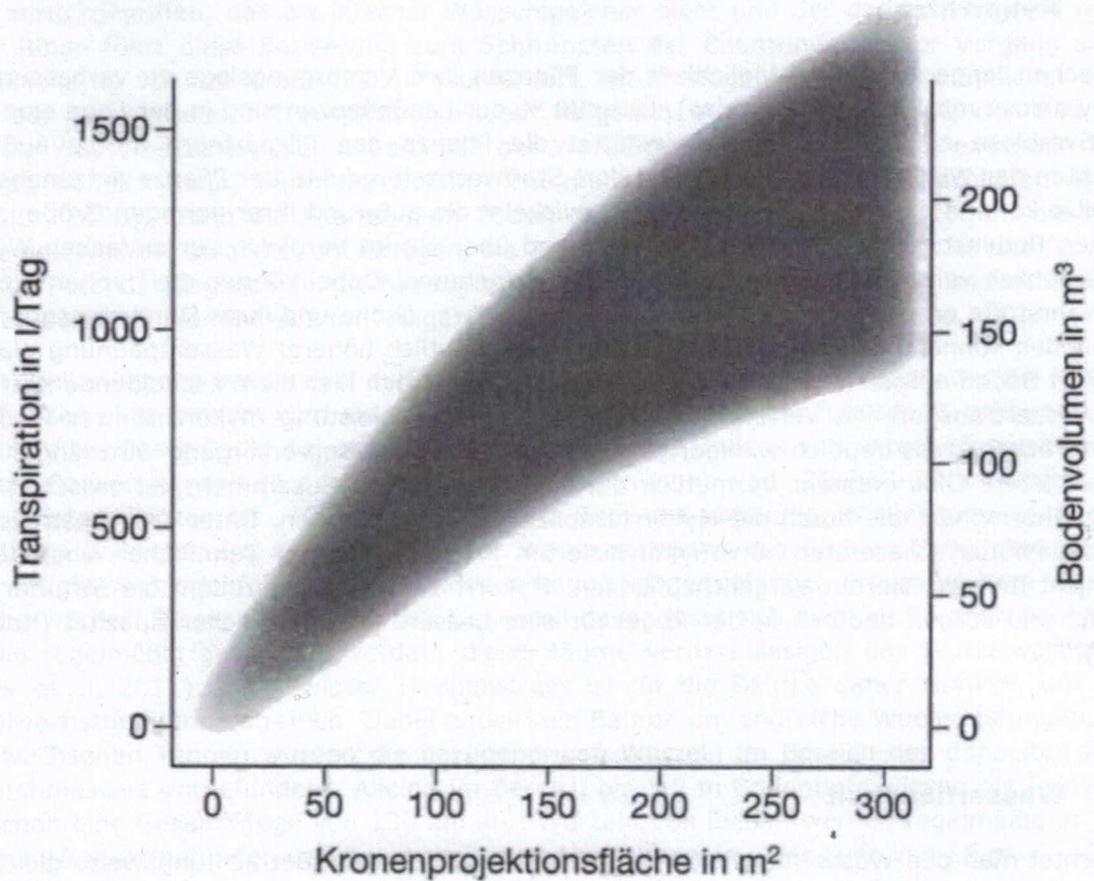


Abb. 1: Wasserbedarf (Rust, 2010)

5 Boden

Der anstehende Boden ist von erheblicher Bedeutung für die Wasserversorgung der Bäume und dies unabhängig davon, wie die Pflanzgrube des Baumes beschaffen ist. Jeder Stadtbaum ist darauf angewiesen früher oder später in den anstehenden Boden einzuwurzeln, denn letztlich reicht eine Pflanzgrube in der Regel nicht aus, um einen größeren Baum dauerhaft mit Wasser zu versorgen und fest zu verankern. Zudem ist die Wasserversorgung am Standort stark vom umgebenden Boden und von dessen Wassergehalt abhängig, da das Wasser aus der Umgebung nachfließen muss, wenn der Baum größere Mengen verdunstet. Kommt es zu starken und langanhaltenden Niederschlägen wird der Boden gegebenenfalls mit Wasser geflutet. Das Wasser in den Grobporen des Bodens ist frei beweglich und versickert in das Grundwasser. Das dann noch im Boden befindliche Wasser ist das sogenannte Haftwasser, das als Feldkapazität bezeichnet wird. Das Wasser in sehr feinen Poren, etwa denen eines Tonbodens, ist oftmals nicht mit der Saugspannung der Pflanze aus den Poren zu lösen, da die Bindungskräfte der Poren und die hinzukommenden Haltekräfte der Wassermoleküle untereinander der Weitergabe des Wassers im Boden entgegenstehen. Diese Adhäsions- und Kohäsionskräfte bewirken, dass ein Teil des Wassers als nicht pflanzenverfügbar im Boden verbleibt, das so genannte Totwasser. Das dann noch den Pflanzen zur Verfügung stehende Wasser wird als Nutzbare Feldkapazität bezeichnet. Die Nutzbare Feldkapazität hängt wesentlich von den Faktoren Porenvolumen, Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Humusgehalt und Skelettgehalt ab.

Der Grundwasseranschluss ist ein Faktor, der die Versorgung des Baumes mit Wasser sicherstellen kann. Je nach Bodenbeschaffenheit und Abstand des Grundwassers zur Oberfläche kann der Baum mit seinen Wurzeln noch Bereiche finden, die entweder zeitweilig oder dauerhaft vom oberflächennahen Grundwasser beeinflusst sind. Möglich ist jedoch auch, dass der

Boden am Standort ausschließlich von Wasser versorgt wird, welches von der Oberfläche in den Boden eindringt. Dieses ist vor allem dann der Fall, wenn der Grundwasserabstand fern ist oder ein kapillarer Bruch vorliegt, der eine Weiterleitung des aufsteigenden Wassers unterbricht. Die Aufstiegshöhe des Grundwassers ist im Wesentlichen von den Kapillaren des Bodens abhängig. Je feiner diese kleinsten Bodenporen sind, desto höher sind Adhäsionskräfte, die das Wasser in diesen Poren aufsteigen lassen. Physikalisch findet die Aufstiegshöhe ein Ende, wenn die auf die Wassersäule einwirkende Schwerkraft höher ist als die Adhäsions- und Kohäsionskräfte. Für die Wasserversorgung der Pflanze ist jedoch die transportierte Wassermenge bedeutsamer als die reine Aufstiegshöhe, die ohnehin nicht sehr hoch reicht. Bei den leistungsfähigsten Böden endet der für die Wasserversorgung noch ausreichende kapillare Aufstieg zwischen 1,20 m bis 1,40 m über dem Grundwasserstand. Immerhin liefert der schluffige Schluff in diesen Höhen noch bis 2,4 l pro Quadratmeter und Tag. Schluff- und tonreiche Böden transportieren das Wasser zwar höher - bis in Höhen von 2,50 m und mehr - über dem Grundwasserspiegel, jedoch sinken die Mengen z.B. beim schluffigen Ton auf beispielsweise nur 0,3 Liter pro Quadratmeter und Tag (Ad-hoc AG Boden, 2005). Neben der vertikalen Bewegung des Wassers im Boden gibt es auch eine horizontale Bewegung, die von Bedeutung ist. Die Wasserbewegung im Boden hängt von der Leitfähigkeit oder auch Durchlässigkeit des Bodens ab und ist umso größer, je größer und gleichmäßiger die Körnung des Bodens und damit die Kornzwischenräume sind. Bei feinporenreichen Tonböden sind die wasserleitenden Grobporenanteile allerdings wesentlich durch das Gefüge bedingt und bestehen aus Bioporen (Regenwürmer), Krümelzwischenräumen und Rissen. Daher kann hier die Durchlässigkeit in die verschiedenen Richtungen sehr unterschiedlich sein (Müller et al, 1989).

Kommt es zu Niederschlägen, z. B. durch Regen oder Bewässerung, kann das Wasser, was nicht an der Oberfläche abfließt oder verbleibt in den Boden eindringen. Dieser als Infiltration bezeichnete Vorgang kann durch bestimmte Faktoren gehemmt werden, etwa, wenn sich die Bodenteilchen an der Oberfläche aufgrund physikalischer Umstände sträuben, Bindungen zu den Wassermolekülen herzustellen. Hier spricht man von der Schwerbenetzbarkeit des trockenen Bodens. Auch das Bestreben der Wassermoleküle aneinander zu bleiben sorgt für eine Oberflächenspannung des Wassers (Kohäsion), die im Kontakt zum Boden zunächst überwunden werden muss. Dringt das Wasser in den Boden ein, hängt die Infiltrationsrate zudem von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche (idealerweise grobporenreiches unebenes Krümelgefüge), dem Wassergehalt des Bodens und der Leitfähigkeit des Bodens ab. Die Wasserleitfähigkeit ist in wassergesättigten Böden am größten. Je trockener der Boden ist, desto mehr Wasser kann in die luftgefüllten Poren aufgenommen werden, wenn die Anfangswiderstände überwunden sind und das Wasser ab- bzw. weitergeleitet werden kann. Je feinporiger ein Boden allerdings ist, desto größer sind die Widerstände der benachbarten noch trockenen Poren, und umso länger dauert die Befeuchtung des gesamten Bodenkörpers. Wegen der in diesem Fall geringen ungesättigten Wasserleitfähigkeit ist die Aufnahmefähigkeit dann zunächst erschöpft, so dass nachfolgendes Wasser an der Oberfläche abfließen muss. Insbesondere vor dem Hintergrund veränderter Niederschlagscharakteristiken sind daher Böden mit geringer ungesättigter Wasserleitfähigkeit problematisch und werden mit zunehmender Trockenheit noch problematischer zumal die häufigeren Starkregenereignisse in kurzer Zeit große Wassermengen liefern, die dann jedoch nicht rechtzeitig aufgenommen werden können.

6 Hitze, Trockenheit und Trockenstress

Die vergangenen Sommer haben den Gehölzen stark zugesetzt. Hierbei müssen jedoch zwei Dinge unterschieden werden das eine ist die Hitze, das andere die Trockenheit. Hitzeschäden durch Sonneneinstrahlung an Gehölzen sind vielen bekannt durch die Rindennekrosen, die gerade an jungen Straßenbäumen auf der Südwestseite oder bei Hängebuchen in der Oberkrone entstehen. Ursache hierfür sind Rindentemperaturen im lebenden Gewebe von mehr als 47 Grad, die dann zum Absterben dieses Gewebes führen. Besonders gefährdet sind hier die aus den gemäßigten Klimazonen stammenden, zerstreutporigen Baumarten, die zudem durch ungünstige Standortfaktoren wie Exposition und fehlende Belüftung besonders belastet werden. Ringporige Baumarten können der übermäßigen Erwärmung der Rinde entgehen, indem sie durch Transpiration eine Kühlung der Rinde erreichen (Uehre, 2017). Voraussetzung hierfür ist eine hinreichende Wasserversorgung. Fällt diese aus, können auch ringporige Baumarten entsprechende Hitzeschäden erleiden. Trockenheit kann also Hitzeschäden begünstigen.

Trockenheit bringt jedoch weitaus mehr Probleme mit sich. Wie eingangs erwähnt, führt eine Erhöhung der Umgebungstemperatur zu vermehrtem Stoffwechsel, für den die Pflanzen die Spaltöffnungen öffnen. Bei abnehmendem Wassergehalt der Schließzellen erschlaffen diese und die Spaltöffnungen werden kleiner. Damit wird der Stoffwechsel reduziert, verlangsamt oder kommt zum Erliegen. Wichtige Zellneubildungen erfolgen dann nur eingeschränkt oder gar nicht. Die Verminderung der Stoffwechselleistung ist in der Regel schon äußerlich an den verminderten Wuchsleistungen der Gehölze in Trockenjahren zu erkennen, die Wasserverfügbarkeit ist für 80 % der Variabilität des Wachstums in den verschiedenen Jahren verantwortlich (Matyssek et al, 2010). Im Extremfall kann bei ausbleibendem Wasserstrom eine Embolie in Xylemgefäßen eintreten, die lediglich in geringem Umfang reparabel ist. Geschieht dieses zu Beginn der Vegetationsperiode haben viele Bäume Schwierigkeiten den Verlust an wasserleitenden Gefäßen auszugleichen. Irreparable Schäden bis hin zum Absterben von Wurzeln, Kronenteilen oder ganzen Bäume können kurz und langfristig entstehen. Sofern die Bäume den Trockenstress, teils schwer geschädigt, überleben, sind häufig auch nicht gleich sichtbare Schäden vorhanden. So unterbleibt als Folge der reduzierten Stoffwechselleistung zum Beispiel das Verthyllen von trocken gefallen Gefäßen. Thyllen sind Auswüchse von Parenchymzellen, die sich durch die Tüpfelkanäle in die Gefäße hineinwölben und diese im Idealfall verschließen. Oftmals werden hier pilzwidrige Substanzen eingelagert und die Pflanze dadurch geschützt. Die Gelegenheit die Gefäße zu Verthyllen besteht für viele Pflanzen nur bis zum Ende des Vegetationsjahres, danach sterben Nachbarzellen ab und eine Verthyllung bleibt aus. In Folge fehlender Verthyllung können sich die Hyphen von Pilzen rascher in den Pflanzen ausbreiten. Diese Problematik bleibt für den Rest des Pflanzenlebens bestehen und kann dem Baum noch Jahrzehnte nach dem Trockenereignis schaden. Die Erholung der Bäume von einem Trockenstress-Ereignis zieht sich oftmals über viele Jahre hin, sofern möglich. Abgestorbene Wurzeln und beschädigtes Gewebe müssen ersetzt werden, in der Folge fehlen Ressourcen für die Bildung von Abwehrstoffen und dementsprechend sind Folgebeeinträchtigungen auch in späteren Jahren zu befürchten.

7 Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit

Eine Vielzahl von direkten und indirekten Schäden kann an den Stadtbäumen erkannt werden. Viele Birken sind aufgrund ihres besonders hohen Wasserbedarfes im letzten Jahr abgestorben, der Wasserverbrauch der Birke liegt etwa 40 % über dem der Eiche oder 60 % über dem der Buche (Lyr et al, 1992). Die Fichte als ein wichtiger Holzlieferant stirbt in großer Zahl. Normalerweise kann der Baum durch die Harzbildung mehrere hundert Borkenkäfer abwehren, wegen der Trockenheit bleibt dieser wichtige Abwehrmechanismus aus, und selbst Fichten in Hausgärten werden von Käfern befallen. Abgestorbene Kronenteile und Totholzbildung findet sich an vielen Bäumen und führt zu deutlicher Herabsetzung der Verkehrssicherheit. Grünastbruch infolge von Hitze und Trockenheit ist verstärkt zu beobachten und nicht vorhersehbar, die Ursachen hierfür werden immer noch kontrovers diskutiert.



Abb. 2: Grünastbruch

Die insgesamt geschwächten Bäume werden von verschiedenen Insekten befallen, auch an Stadtbäumen findet man Organismen wie den Buchenborkenkäfer (*Taphrorychus bicolor* und *Xyloterus domesticus*) an Buche und die nachfolgenden holzzeretzende Pilze verursachen Schadbilder, die vom Boden aus kaum zu erkennen sind und z.B. zum Bruch beliebter Starkäste führen, was bisher sehr selten auftrat.



Abb. 3: Starkastbruch Buche belaubt

Auch Prachtkäfer wie der Eichenprachtkäfer werden durch die Wärme und die geschwächten Pflanzenbestände gefördert und schädigen insbesondere Jungbäume. An geschwächten und im Wuchs zurückbleibenden Ästen breiten sich Massaria (*Splanchnonema platani*), Buchenkohlenbeere (*Hypoxylon fragiforme*), Pfennig-Kohlenkruste (*Biscogniauxia nummularia*) und *Nectria* - Pilzarten aus, die zum Bruch dieser Äste führen können. Auch der die Rußrindenkrankheit am Bergahorn auslösende Pilz *Cryptostroma corticale* wird durch warme Temperaturen in der Ausbreitung begünstigt und stellt für manche Kommune bereits ein Problem dar. Im Wurzelbereich bieten abgestorbene Partien Einfallstore für holzzersetzende Pilze wie den wärmeliebenden Spindligen Rübbling (*Gymnopus fusipes*) oder den Riesenporling (*Meripilus giganteus*). Hinzu kommt massenhaftes Auftreten von Eichenprozessionsspinner, deren Nester zumindest in dicht besiedelten Bereichen und an Kindergärten und Schulen entfernt werden müssen, um die Verkehrssicherheit zu wahren.

8 Geänderte Artenauswahl als Reaktion auf die Artenauswahl

Viele Kommunen suchen als Ausweg aus der Trockenheitsproblematik nach besonders geeigneten Baumarten, die angeblich toleranter gegenüber Trockenheit sind. Diese werden dann als „Klimabäume“ bevorzugt in die Stadt gepflanzt. Einige Kommunen gehen sogar soweit und wollen den Baumbestand in der Stadt nach und nach austauschen bzw. erneuern.

Dabei sind viele der gewählten „neuen“ Baumarten weder ausreichend als geeignet für Stadtstandorte getestet, noch liegen Daten über die Alterungsfähigkeit und die Entwicklung dieser Baumarten vor. Insbesondere Arten aus sehr trockenen Regionen haben dabei oft keine Abwehrstrategien für die hier heimischen Pilze oder sind nicht in der Lage Symbiosen mit den hier anzutreffenden Mykorrhizen einzugehen. Auch bleibt unberücksichtigt, ob die Bäume die in ihren Herkunftsländern typischen Eigenschaften tatsächlich beibehalten oder diese nicht nach wenigen Generationen der Vermehrung hierzulande wieder verlieren (Liesebach, 2018). Letztlich kann die Freisetzung fremdländischer Arten problematisch sein, wie man derzeit am Götterbaum sieht, der sich unkontrolliert ausbreitet und als invasive Art aus dem Handel genommen wurde. Im Gegensatz dazu ist festzustellen, dass bereits heute die phänotypischen Variationen der heimischen Baumarten sehr vielfältig sind und es durchaus trockenheitsgeprägte Regionen gibt - etwa in Brandenburg - die als Quelle trockenheitstoleranterer heimischer Arten dienen können. Die Pflanzung neuer Baumarten kann dabei eine zusätzliche, jedoch nicht die tragende Rolle spielen.

9 Erhalt bestehender Bäume

Die viele Jahrzehnte alten Stadtbäume sind unter anderen Rahmenbedingungen aufgewachsen als Bäume, die heute gepflanzt werden. Vor hundert Jahren waren die Straßen nur bedingt befestigt, wenn ein stärkerer Ausbau erfolgte, dann wurden Packlagen aus Grobschlag mit dem anstehenden Boden verfüllt und darauf Schotter ausgebracht. Erst später wurde die Oberfläche in der Regel mit fugenreichem Großpflaster befestigt. Erst in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurden diese Flächen dann asphaltiert, daher liegen heute noch vielfach die alten Straßenaufbauten unter den Fahrbahnen. Für die Straßenbäume war damit zwar eine stetige Verschlechterung der Standortbedingungen verbunden, die meisten haben es jedoch geschafft sich daran anzupassen. Werden heute neue Baumstandorte hergestellt, sind bereits die Startbedingungen der Bäume deutlich schlechter. Selbst bei Einhaltung aller Empfehlungen ist davon auszugehen, dass die meisten der heute gepflanzten Bäume nicht mehr die Wuchsleistung der noch bestehenden Großbäume in der Stadt erreichen.

Die extremen Verdichtungen der Böden durch Baumaschinen während des Baus und Vibrationen durch den nachfolgenden Verkehr sorgen dafür, dass Bäume die Pflanzgruben kaum noch verlassen können, es sei denn, es bieten sich Möglichkeiten in angrenzenden Gärten und Grünflächen einzuwachsen. Umso bedeutsamer wird in vielen Fällen der Erhalt der bestehenden Bäume, da diese eine direkte Auswirkung auf das Kleinklima und damit auf die Lebensqualität und Gesundheit der Menschen in den umgebenden Bereichen haben.

10 Bewässerung in Trockenzeiten

Wie vorangehend aufgezeigt, können die Auswirkungen von Trockenstress massiv sein und das Überleben von Bäumen gefährden. Maßnahmen zur Minimierung oder besser noch Vermeidung des Trockenstresses sind daher unvermeidlich, wenn man einen leistungsfähigen Baumbestand in der Stadt erhalten möchte.

In vielen Kommunen konnte in den letzten Jahren beobachtet werden, dass Bewässerungen zu spät und/oder mit ungeeigneten Mitteln durchgeführt wurden. Während Jungbäume noch mit geringen Wassermengen versorgt werden können, gestaltet sich die Aufgabe der Bewässerung von Altbäumen ungleich schwieriger. Eine direkte Wassergabe auf die Baumstandorte funktioniert nur bei sehr grobporenen Oberflächen. In der Regel können die Böden an den Standorten aufgrund der Körnung und wegen oberflächlicher Verdichtung keine großen Wassermengen aufnehmen. Eine direkte Wassergabe durch die Wasserwerfer der Polizei ist daher ebenso ungeeignet wie diejenige aus den Löschfahrzeugen der Feuerwehren, denn in der Regel kommt es hier zu großem Oberflächenabfluss, Erosion und nur geringem Bewässerungserfolg.

Bei den meisten Böden ist es sinnvoll eine Bewässerung langsam und vorrangig zu einem Zeitpunkt durchzuführen, an dem der Boden noch in der Lage ist das Wasser gut anzunehmen und weiterzuleiten. Vor den Gedanken über die technischen Lösungen einer Bewässerung muss daher die Betrachtung der Böden an den Baumstandorten stehen, um eine Bewässerung effektiv durchführen zu können. Sowohl die erforderliche Bewässerungsdauer und Tages- oder Nachtzeit, als auch die Bewässerungsmenge pro Zeiteinheit und als Ganzes sollten auf die Bodenart, die Oberflächenbeschaffenheit und den Feuchtegehalt des Bodens abgestimmt werden, um die eingesetzten Ressourcen so effektiv wie möglich zu nutzen.

Durch Verwendung der Geografischen Informationssysteme lassen sich durch Überlagerung der Flächeninformationen Grundwasserflurabstand, Böden, und Versiegelungsgrad die unterschiedlichen Bodenpotentiale in einer Kommune darstellen. Hieraus könnten wenige Musterstandorte abgeleitet werden, die man mit technischen Mitteln, etwa mit Tensiometern zur Bodenfeuchtemessung überwacht. Über Datenlogger oder Funkeinrichtungen können die Messdaten ausgelesen und übermittelt werden und die für den Musterstandort ermittelten optimalen Bewässerungszeitpunkte festgestellt werden. Durch Vorgabe der Bewässerungsmengen und -dauern wird eine gezielte Bewässerung an vergleichbaren Standorten ermöglicht.

Technische Lösungen für die Bewässerung sind meist simpel und bestehen für die feinkörnigen Böden in der Regel aus Rückhalteeinrichtungen wie Bewässerungssäcken (Abb. 4, Bewässerungssack) und Bewässerungsringe für kleinere Bäume sowie aus Tonnen oder IBC Container (Abb. 5, IBC Container), die mit Tröpfchenbewässerungsschläuchen versehen werden und für größere Bäume und Flächen eingesetzt werden können.



Abb. 4: Bewässerungssack



Abb. 5: IBC Container

Eine weitere Möglichkeit ist der Einbau von automatischen Bewässerungssystemen, die jedoch neben den nicht unerheblichen Einbaukosten auch erhebliche Wartungskosten nach sich ziehen. Zusätzlich können Maßnahmen zur verbesserten Wasseraufnahme und Speicherkapazität an den Standorten durchgeführt werden. Neben dem Beseitigen von Oberflächenverdichtungen durch Öffnen des Bodens bietet vor allem die Durchführung von Bodenbelüftungsmaßnahmen einen doppelten Effekt. Neben der verbesserten Belüftung nehmen die entstandenen Risse und Spalten das eingeleitete Wasser besser auf und die benetzbare Bodenoberfläche wird erheblich vergrößert.

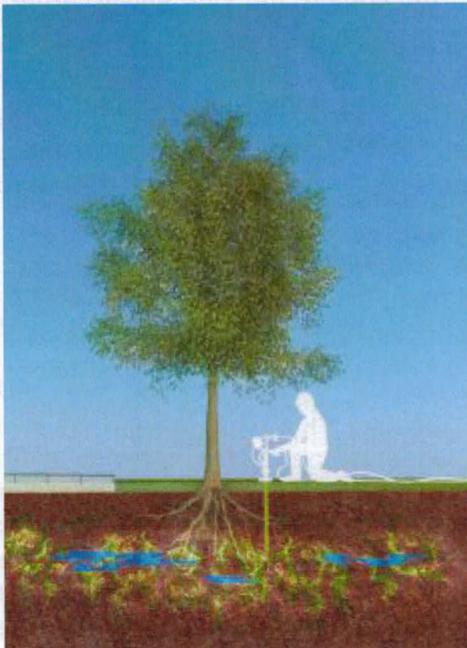


Abb. 6: Öffnung durch Bodenbelüftung, Quelle TFI

Zusammenfassend lassen sich folgende Empfehlungen herleiten:

1. Hitzeschäden sind durch Schutzanstriche, Beschattung und Bewässerung zu vermeiden
2. Das Wissen um Bodeneigenschaften und Wasserhaushalt muss bei den Fachleuten vor Ort hergestellt werden
3. Prüfen Sie, welche Böden Sie an welchen Baumstandorten haben.
4. Schaffen Sie Modellstandorte, die Sie überwachen und für die Sie Bewässerungsempfehlungen herstellen
5. Orientieren Sie Ihre Bewässerung an den Ergebnissen der Überwachung dieser Standorte
6. Machen Sie sich Gedanken, wie und in welchem Umfang Sie ggf. bewässern müssen
7. Stellen Sie ggf. die Bewässerungsmöglichkeiten her
8. Stellen Sie die Ressourcen bereit um ggf. zu bewässern
9. Belüftung von verdichteten Baumstandorten zur Erhöhung der Wasseraufnahmefähigkeit
10. Pflanzung von passenden Genotypen

Zurzeit wird diskutiert, ob die Verwendung von Benetzungsmitteln bzw. Wetting Agents, die die Oberflächenspannung des Wassers reduzieren, sinnvolle Maßnahmen sein können, um die Wasserspenden besser auszunutzen. Insbesondere in südlichen Ländern wird diese Methode in der Landwirtschaft heute schon angewendet. Erforderlich ist eine ausreichend große Bodenoberfläche, in die das Wasser eindringen kann (Feldmann, 2017). Voraussetzung hierfür sind jedoch ausreichende Kenntnisse über deren biologische und ökologische Auswirkungen.

11 Quellen

AD – HOC - ARBEITSGRUPPE BODEN DER STAATLICHEN GEOLOGISCHEN DIENSTE UND DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Hannover 2005

BAUER H., ACHE P., WOHLFART F., AL-RASHEID K.A., SONNEWALD S., SONNEWALD U., KNEITZ S., HETHERINGTON A.M., HEDRICH R.; 2013: How do stomata sense reductions in atmospheric relative humidity In: Mol. Plant (Online Publikation: 27 März 2013), DOI:[10.1093/mp/sst055](https://doi.org/10.1093/mp/sst055).

BÜHLER O., KRISTOFFERSON P., 2011: Untersuchung zur Wasserversorgung von Straßenbäumen in Dänemark. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2011, Haymarket Media, Braunschweig, S. 38 – 46

BRUNNER, IVANO; 2006: Licht ins Dunkel der Wurzelwelt in: Osnabrücker Baumpflegetage -aktiv für Bäume, Tagungsband 2006, Fachhochschule Osnabrück

FELDMANN R., 2017: Versuche der Staatsschule für Gartenbau 2017 Gemüsebau, Weißkohl, Wetting Agents, Staatsschule für Gartenbau Stuttgart-Hohenheim in [https://www.km-bw.de > documents > MLR.LEL > sfg > Versuchsberichte vom 17.10.2019, 10.28 Uhr](https://www.km-bw.de/documents/MLR.LEL/sfg/Versuchsberichte_vom_17.10.2019_10.28_Uhr)

HELMHOLTZ ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG (UFZ) www.ufz.de vom 20.09.2019 11.10 Uhr

KOTTKE, INGRID, Mykorrhiza – Pilz-Wurzel-Symbiosen/ Druckversion [Internet]. Wikibooks, Die freie Bibliothek; 27. Apr. 2017, 16:08 UTC [zitiert am 13. Sep. 2019]. Verfügbar unter: https://de.wikibooks.org/w/index.php?title=Mykorrhiza_%E2%80%93_Pilz-Wurzel-Symbiosen/_Druckversion&oldid=819029.

LIESEBACH M. 2018: Zur Bedeutung phänotypischer Variationen von Bäumen im Klimawandel, Tagungsband 36. Osnabrücker Baumpflegetage S. 63 – 71, Patzer Verlag Berlin

LYR H., FIEDLER H.J., TRANQUILLINI W.; 1992 : Physiologie und Ökologie der Gehölze, Gustav Fischer Verlag Jena -Stuttgart, 1992

MATTYSEK R., FROMM J., RENNENBERG H., ROLOFF A.; 2010: Biologie der Bäume, Eugen Ulmer KG, Stuttgart

MÜLLER G., EHWALD E., FÖRSTER I., HICKISCH B., REUTER G. 1989: Pflanzenproduktion Bodenkunde, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, Kapitel 7 S.209-260

MULTSCH W. 1986, Allgemeine Botanik, 8te Neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Thieme Verlag 1986

RUST, S. 2010: Stadtbäume – Überleben trotz häufigerer Trockenphasen in der Vegetationsperiode. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2010, Haymarket Media, Braunschweig, S. 38 – 49

STRASBURGER/ NOLL/ SCHENCK/ SCHIMPER; 1983: Lehrbuch der Botanik Fischer Verlag, Stuttgart 1983

UEHRE P., HERMANN S. 2017: Untersuchungen zur Trocken- und Hitzetoleranz von Bäumen im Klimawandel, In Jahrbuch der Baumpflege 2017 S.183 – 191, Haymarket Media Braunschweig